

Rec'd PCT/EIC/2003 2003  
**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**



REC'D 29 OCT 2003

WIPO PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

EP/03/10056

**Aktenzeichen:**

102 41 986.8 ✓

**Anmeldetag:**

11. September 2002 ✓

**Anmelder/Inhaber:**

TUI Laser AG, Germering/DE

**Bezeichnung:**

Diodengepumpter Festkörperlaser

**IPC:**

H 01 S 3/08

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 6. Oktober 2003  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

**Der Präsident**  
Im Auftrag

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

Scholz

Rösler Patentanwaltskanzlei, Landsberger Str. 480 a. 81241 München

Deutsches Patent- und Markenamt  
Zweibrückenstr. 12

80297 München

Uwe Th. Rösler, Dipl.-Phys.  
Dr. Roland Gagel, Dipl.-Phys.\*

Patentanwälte,  
European Patent Attorneys,  
European Trademark Attorneys

Telefon: +49/(0)89/820 477 120  
Telefax: +49/(0)89/820 477 121  
email: ur@urpatent.com

11.09.2002, Rö/Bl  
Unser Zeichen: TUIL102R10

Neue Deutsche Patentanmeldung

Anmelder:

TUI Laser AG  
Industriestr. 15, 82110 Germering

---

Diodengepumpter Festkörperlaser

---

**Technisches Gebiet**

Die Erfindung bezieht sich auf einen diodengepumpten Festkörperlaser mit wenigstens einem intrakavitär angeordneten Laserkristall der wenigstens eine optische Achse aufweist, längs der wenigstens ein von wenigstens einer Pumplichtquelle emittierter Pumplichtstrahl in den Laserkristall einfällt.

**Stand der Technik**

Diodengepumpte Festkörperlaser stellen leistungsstarke, kompakte Lichtquellen dar, die durch die fortschreitende Entwicklung von Laserdioden als Pumplichtquellen beachtlich an Bedeutung gewonnen haben. So sind mittlerweile Laserdioden bzw. zeilen- oder arrayförmig angeordnete Laserdiodenanordnungen, sogenannte

Laserdioden-Bars erhältlich, die über Pumplichtleistungen von 10 W und mehr verfügen. Darüber hinaus weisen diese Pumplichtquellen Emissionswellenlängenspektren auf, die im Bereich der optischen Absorptionsbanden für Festkörperlaser geeignete Laserkristalle liegen, wodurch eine höchst effiziente optische Anregung der Laserkristalle erzielbar ist.

Mit Hilfe derartiger, leistungsstarker Laserdioden eröffnet sich ein weites Feld für die Optimierung derartiger optisch gepumpter Festkörperlaser-Systeme. Jedoch treten mit zunehmenden Pumplichtleistungen innerhalb optisch gepumpter Laserkristalle Erscheinungen auf, die eine beliebige Steigerung der von dem Festkörperlaser-System emittierten Lichtleistung begrenzen.

So führt bisweilen eine hohe Pumplichtleistung zu starker Pumplichtabsorption innerhalb des Laserkristalls, die zugleich auch ein beträchtlicher Wärmeeintrag in den Kristall darstellt. Da das optische Brechkraftverhalten des Laserkristalls in Abhängigkeit der Kristallart mehr oder weniger von der Temperatur abhängig ist, bildet sich innerhalb des Laserkristalls entsprechend eine thermisch bedingte Linsenwirkung aus, die sich zunächst nachteilhaft auf die sich innerhalb des Laserkristalls ausbildende Strahlqualität auswirkt. Gepaart mit einer sich zudem einstellenden Doppelbrechung, die mit depolarisierenden Effekten verbunden ist, wird die Strahlleistung und Strahlqualität weiter stark beeinträchtigt.

Zudem können im Bestreben der ausschließlichen optischen Anregung des  $TEM_{00}$ -Mode lokale Hot-Spots innerhalb des Laserkristalls auftreten, die zumeist zu dessen Zerstörung führen. So gilt es für eine mono-modige optische Anregung des  $TEM_{00}$ -Modes das Pumplicht auf einen Brennfleck innerhalb des Laserkristalls zu fokussieren, der möglichst gut an die sich intrakavitär ausbildende Schwingungsmode anzupassen ist. Somit ist verständlich, dass gegenüber thermischen Überhitzungen sensible Laserkristalle, wie beispielsweise YLF, einer gewünschten Leistungssteigerung unter Verwendung leistungsstarker Pumplichtquellen Grenzen gesetzt sind.

Ein besonders geeigneter Laserkristall, der eine für die beabsichtigten leistungssteigernden Maßnahmen optische Robustheit aufweist, stellt Nd:YVO<sub>4</sub> (Nd: Vanadat) dar. Jedoch zeigt dieser Kristall mit zunehmender Pumplichtleistung und einer damit verbundenen Erwärmung des Laserkristalls eine sich zunehmend stark ausbildende optische Linsenwirkung, die bezogen auf den intrakavitären Strahlverlauf zwar durch cleveres Resonatordesign ausgeglichen werden kann, doch verbleibt dennoch die durch die Linsenwirkung hervorgerufene optische Aberration, durch die die Leistungsperformance des Festkörperlaser nachhaltig beeinträchtigt wird.

In der US 6,185,235 B1 ist ein leistungsoptimierter diodengepumpter Festkörperlaser mit wenigstens einem intrakavitären Neodym-Vanadat-Laserkristall beschrieben, der unter Maßgabe der Erzeugung eines leistungsstarken Laserstrahls mit einem ausschließlichen TEM<sub>00</sub>-Strahlprofil konzipiert worden ist. Hierbei gilt es, den Laserkristall mit einer nur geringen Nd-Dotierung zu versehen und dafür Sorge zu tragen, dass das Pumplicht-absorbierende Laserkristallvolumen möglichst groß gewählt wird, d.h. der longitudinal gepumpte Laserkristall verfügt über eine bestimmte Mindestlänge.

Allen bisher bekannten Bestrebungen, longitudinal diodengepumpte Festkörperlaser in ihrer Leistungseffizienz zu optimieren, konzentrieren sich auf das erklärte Ziel, hohe Lichtleistung und zugleich eine hohe Strahlqualität, d.h. die sich intrakavitär ausbildende Schwingungsmoden beschränkt sich auf den TEM<sub>00</sub>-Mode, zu erzielen. So werden typischerweise bei longitudinal diodengepumpten Lasersystemen ausschließlich Strahlqualitäten mit  $M^2 \leq 1,2$  realisiert.

Der für diese hochleistungsdiodengepumpten Festkörperlaser erforderliche technische Aufwand schlägt sich jedoch nicht zuletzt auch im Preis für derartige Lasersysteme nieder.

Diodengepumpte Festkörperlaser eignen sich grundsätzlich für eine Vielzahl unterschiedliche technische Anwendungsgebiete. Bevorzugt werden sie in jenen Bereichen eingesetzt, in denen leistungsstarke und eine kleine Bauform aufweisende Lasersysteme erwünscht sind. Bspw. werden derartige monochromatische Lichtquellen zur Materialbearbeitung, vorzugsweise zur Oberflächenmaterialbearbeitung, wie Materialabtrag, Materialveränderung oder Oberflächenveredelung eingesetzt.

### **Darstellung der Erfindung**

Es besteht daher die Aufgabe, einen diodengepumpten Festkörperlaser anzugeben, der lediglich unter Maßgabe einer möglichst hohen Lichtleistung konzipiert ist und als kostengünstiges Festkörperlaser-System angeboten werden kann. Insbesondere gilt es für verschiedene Arten der Materialbearbeitung sowie auch in Fällen medizinischer Applikationen ein diodengepumptes Festkörperlaser-System anzugeben, das über eine möglichst hohe Ausgangsleistung verfügt, jedoch keine allzu gute Strahlqualität aufweisen muss.

Die Lösung der der Erfindung zugrundeliegenden Aufgabe ist im Patentanspruch 1 angegeben. Vorteilhafte Merkmale sind Gegenstand der Unteransprüche.

Erfindungsgemäß zeichnet sich ein diodengepumpter Festkörperlaser mit einem intrakavitär angeordneten Laserkristall, vorzugsweise ein Neodym-Vanadat-Laserkristall ( $\text{Nd:YVO}_4$ ), mit wenigstens einer optischen Achse, längs der ein von der Pumplichtquelle emittierter Pumplichtstrahl in den Laserkristall einfällt, dadurch aus, dass der Pumplichtstrahl einen Strahldurchmesser aufweist, der wenigstens dem 1,25-Fachen des Strahlquerschnittes eines sich innerhalb des Resonators ausbildenden Laserstrahls mit der Schwingungsmode  $\text{TEM}_{00}$  entspricht.

In Abkehr von vergleichbaren diodengepumpten Festkörperlaser-Systemen, deren Pumplicht aus Gründen einer möglichst hohen Strahlqualität auf einen möglichst eng

taillierten Raumbereich innerhalb des Laserkristalls mit Hilfe einer geeigneten Abbildungsoptik fokussiert wird und dessen laterale zur Strahlrichtung orientierte Fleckgröße innerhalb des Kristalls angepasst ist an den sich intrakavitär ausbildenden Strahlquerschnitt eines  $TEM_{00}$ -Modes, schlägt das erfindungsgemäße Konzept vor, den innerhalb des Laserkristalls abgebildeten Pumplichtstrahldurchmesser bewusst wesentlich größer zu wählen, als der vorstehend genannte Strahlquerschnitt eines  $TEM_{00}$ -Modes. Wird nämlich das Verhältnis von Pumplichtstrahldurchmesser im Laserkristall zum  $TEM_{00}$ -Mode-Durchmesser größer als 1,25, vorzugsweise größer als 1,5, gewählt, so bilden sich zusätzlich zum  $TEM_{00}$ -Mode moden-höhere Ordnungen aus. Hierbei verschlechtert sich die Strahlqualität jedoch auf Werte  $M^2 \geq 1,8$ , doch kann eine derartige Strahlqualität für eine Vielzahl von technischen sowie auch medizinischen Applikationen durchaus in Kauf genommen werden.

Durch die erfindungsgemäße Maßnahme stellt sich eine ungleich höhere Ausgangsleistung des Laserstrahls ein, als im Falle des Anschwingens lediglich des  $TEM_{00}$ -Modes. Zwar führt die erfindungsgemäße Maßnahme neben der Leistungssteigerung auch zur Verbreiterung des Austrittsstrahls, doch stellt dies bei einer Vielzahl von Anwendungen, beispielsweise beim Laserbeschriften von technischen Oberflächen, keinen Nachteil, sondern vielmehr eine wünschenswerte Eigenschaft dar, zumal die Beschriftung für das Auge aufgrund der sich größer und breiter darstellenden einzelnen Zeichen und Buchstaben besser sichtbar wird.

Durch den erfindungsgemäß im Strahlquerschnitt größer bemessenen Pumplichtstrahl als der sich innerhalb des Laserkristalls ausbildende  $TEM_{00}$ -Mode wird überdies der Laserkristall in einem größeren Volumen gleichmäßig durchleuchtet, wodurch sich die in den Laserkristall eingebrachte Verlustwärme gleichmäßiger verteilt und somit zur Reduzierung der thermischen Linsenwirkung und überdies zur Reduzierung der thermisch induzierten Doppelbrechung beiträgt. Somit ist es möglich, diodengepumpte Festkörperlaser mit Laserkristallen auszustatten, die bei den bisher vorherrschenden Leistungsanforderungen aufgrund thermischer Überlastung nicht einsetzbar waren.

Grundsätzlich eignen sich nachfolgende Laserkristallarten für den Einsatz des erfindungsgemäß ausgebildeten diodengepumpten Festkörperlaser:

Nd:YAG, Nd:YVO<sub>4</sub>, Nd:YLF, Nd:GVO<sub>4</sub>, Nd:YPO<sub>4</sub>, Nd:BEL, Nd:YALO, Nd:LSB, Yb:YAG, Yb:FAB, Cr:LiSAF, Cr:LiCAF, Cr:LiSGAF, Cr:YAG, Tm-Ho:YAG, Tm-Ho:YLF, Er:YAG, Er:YLF oder Er:GSGG.

Bezüglich eines technisch realisierbaren Ausführungsbeispiels wird auf die einzige Figur sowie deren Beschreibung verwiesen. In der einzigen Figur ist ein diodengepumpter Festkörperlaser dargestellt, dessen Resonator R (siehe strichlierte Umrandung) durch die Resonator-Endspiegel 1 und 2 begrenzt ist. Innerhalb des Resonators R ist ein akusto-optischer Güteschalter 3 sowie ein zwischen zwei wellenlängenselektiven Spiegeln 4 und 5 angeordneter Laserkristall, vorzugsweise in Form eines Nd:YVO<sub>4</sub>-Kristalls vorgesehen. Der durch die vorstehenden Komponenten zusammengesetzte optische Resonator R des Festkörperlaser gibt durch die Vorgaben hinsichtlich der Krümmungsradien der Resonator-Endspiegel 1, 2 der optischen Resonatorlänge sowie der intrakavitären Anordnung des Laserkristalls den sich innerhalb des Laserkristalls ausbildenden TEM<sub>00</sub>-Mode und dessen Strahldurchmesser vor. Weitere Einzelheiten hierfür sind in dem Buch von W. Koechner, „Solid State Laser Engineering“, Springer Verlag, 5. Aufl., 1999 auf den Seiten 195 ff. zu entnehmen.

Ferner sieht der in der Figur dargestellte Festkörperlaser zwei optische Pumpanordnungen 7, 8 vor, die derart relativ zum Resonator R angeordnet sind, dass die von den Pumplichtanordnungen 7, 8 austretenden Pumplichtstrahlen den Laserkristall 6 longitudinal pumpen. Stellvertretend für beide Pumplichtanordnungen 7, 8 weist die Pumplichtanordnung 7 eine Diodenlaseranordnung 9 auf, die eine Wellenlänge von 808 nm emittiert, die in die Absorptionsbande des Nd:YVO<sub>4</sub>-Kristalls hinein fällt. Über eine Lichtleitfaseranordnung 10 gelangt das Diodenpumplicht über eine Abbildungsoptik 11 längs in den Laserkristall 6. Die Abbildungsoptik 11 verfügt über optische Komponenten f1 und f2, durch die ein gewünschter Pumplichtstrahldurchmesser innerhalb des Laserkristalls vorgebar ist. Je nach

Brennweiten der optischen Komponenten  $f_1$  und  $f_2$  sowie deren gegenseitige geometrische Positionierung ist es möglich, den Pumplichtstrahl im Strahldurchmesser größer innerhalb des Laserkristalls 6 abzubilden, als der Strahldurchmesser des  $TEM_{00}$ -Modes. Somit werden gezielt höhere Moden  $TEM_{01}$ ,  $TEM_{10}$ ,  $TEM_{11}$  etc. angeregt, die überdies verglichen zum  $TEM_{00}$ -Mode einen größeren Strahldurchmesser aufweisen.

Durch die in vorteilhafter Weise doppelte Anordnung der Pumplichtanordnungen 7, 8 zu beiden Seiten des Laserkristalls 6 kann die Pumpeffizienz innerhalb des Laserkristalls 6 erheblich gesteigert werden, wodurch auch die Ausgangsleistung des Festkörperlasers entsprechend erhöht wird.

In vorteilhafter Weise ist der optische Resonator als asymmetrischer Resonator ausgebildet, beispielsweise in Form eines konvex-planen, konvex-konkaven oder konvex-konvexen Resonatoraufbaus. Das konkrete Resonatordesign erfolgt in Abstimmung mit der sich durch die Erwärmung innerhalb des Laserkristalls ausbildenden thermischen Linsenwirkung mit der Massgabe eines stabilen Schwingungsverhaltens.

Das erfindungsgemäße diodengepumpte Festkörperlaser-System eignet sich grundsätzlich für eine Vielzahl unterschiedlicher technischer Anwendungsgebiete, bevorzugt werden sie in jenen Bereichen eingesetzt, in denen leistungsstarke und eine kleine Bauform aufweisende Lasersysteme erwünscht sind. Beispielsweise werden derartige monochromatische Lichtquellen zur Materialbearbeitung, vorzugsweise zur Oberflächenmaterialbearbeitung wie Materialabtrag, Materialveränderung oder Oberflächenveredelung eingesetzt. Auch sind Anwendungen für eine Materialbearbeitung innerhalb eines Materialvolumens denkbar, bei denen der Laserstrahl auf innerhalb eines Materialkörpers befindliche Volumenbereiche fokussiert wird, in denen aufgrund der lokalen Intensitätsüberhöhung Schmelzprozesse auftreten, die bspw. zu inneren Materialrissbildungen führen.



**Bezugszeichenliste**

1,2	Resonator-Endspiegel
3	Akustoptischer Güteschalter
4,5	Intrakavitäre teildurchlässige Spiegel
6	Laserkristall
7,8	Optische Pumplichtanordnung
9	Diodenlaser
10	Glasfaseranordnung
11	Optisches Abbildungssystem
R	Resonator

## Patentansprüche

1. Diodengepumpter Festkörperlaser mit wenigstens einem intrakavitär angeordneten Laserkristall (6) der wenigstens eine optische Achse aufweist, längs der wenigstens ein von wenigstens einer Pumplichtquelle (7, 8) emittierter Pumplichtstrahl in den Laserkristall (6) einfällt, dadurch **gekennzeichnet**, dass der Pumplichtstrahl einen Strahldurchmesser aufweist, der wenigstens dem 1,25-fachen des Strahlquerschnitts eines sich innerhalb des Resonators (R) ausbildenden Laserstrahls mit der Schwingungsmode  $TEM_{00}$  entspricht.
2. Diodengepumpter Festkörperlaser nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, dass der austretende Laserstrahl über eine Strahlqualität von  $M^2 \geq 1,8$  verfügt.
3. Diodengepumpter Festkörperlaser nach Anspruch 1 oder 2, dadurch **gekennzeichnet**, dass der  $TEM_{00}$ -Mode-Strahldurchmesser definiert ist durch die Spiegelradien der Resonatorendspiegel (1, 2), die Resonatorlänge sowie die intrakavitäre Anordnung des Laserkristalls (6), und dass der Strahldurchmesser des Pumplichtstrahls durch eine Abbildungsoptik (11) einstellbar ist.
4. Diodengepumpter Festkörperlaser nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch **gekennzeichnet**, dass ein intrakavitärer Güteschalter (3) in Form eines akustooptischen oder elektrooptischen Q-Switch-Schalters vorgesehen ist.
5. Diodengepumpter Festkörperlaser nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch **gekennzeichnet**, dass der asymmetrische optische Resonator (R) einen konvex-planen, konvex-konkaven oder konvex-konvexen Resonatoraufbau aufweist.

6. Diodengepumpter Festkörperlaser nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch **gekennzeichnet**, dass der Laserkristall (6) mit einem oder mehreren der folgenden Dotierstoffen dotiert ist: Nd, Yb, Cr, Tm, Ho oder Er.
7. Diodengepumpter Festkörperlaser nach Anspruch 6, dadurch **gekennzeichnet**, dass der Laserkristall aus folgenden dotierten Kristallen besteht: Nd:YAG, Nd:YVO<sub>4</sub>, Nd:YLF, Nd:GVO<sub>4</sub>, Nd:YPO<sub>4</sub>, Nd:BEL, Nd:YALO, Nd:LSB, Yb:YAG, Yb:FAB, Cr:LiSAF, Cr:LiCAF, Cr:LiSGAF, Cr:YAG, Tm-Ho:YAG, Tm-Ho:YLF, Er:YAG, Er:YLF oder Er:GSGG.
8. Diodengepumpter Festkörperlaser nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch **gekennzeichnet**, dass der wenigstens eine Pumplichtstrahl eine Leistung von wenigstens 5 Watt, vorzugsweise zwischen 10 und 60 Watt aufweist.
9. Verwendung des diodengepumpten Festkörperlasers nach einem der Ansprüche 1 bis 7 zur Materialbearbeitung, vorzugsweise zur Oberflächenbearbeitung, wie Oberflächenmaterialabtrag, Oberflächenveränderung, Sintern, Aufschmelzen, oder vorzugsweise zur Volumenmaterialbearbeitung, wie gezielte Materialrissbildung.

### Zusammenfassung

Beschrieben wird ein diodengepumpter Festkörperlaser mit wenigstens einem intrakavitär angeordneten Laserkristall der wenigstens eine optische Achse aufweist, längs der wenigstens ein von wenigstens einer Pumplichtquelle emittierter Pumplichtstrahl in den Laserkristall einfällt.

Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass der Pumplichtstrahl einen Strahldurchmesser aufweist, der wenigstens dem 1,25-fachen des Strahlquerschnitts eines sich innerhalb des Resonators ausbildenden Laserstrahls mit der Schwingungsmode  $TEM_{00}$  entspricht.

